



(57) 摘要

阵列天线发射链路的校准设备，包括功率检测信号分离装置、功率检测信号馈电装置、功率检测装置、信号合成装置和阵列校准装置；发射链路的下行信号经过功率检测信号分离装置的处理后发送给功率检测信号馈电装置，再发送给信号合成装置；信号合成装置分离出部分射频信号，输出给功率检测装置进行功率检测，将功率信号输出给功率检测信号馈电装置，进行功率信号和高频射频信号的合路，功率检测信号分离装置从混合信号中提取出功率信号，进行校准权值的调整，由阵列校准装置对发射链路进行校准。本发明不使用专门用于阵列天线校准的校准信号收发装置和信标天线，而采用信号功率检测的方法来计算发射增益校准权值和发射相位校准权值，收敛速度较快。

阵列天线发射链路的校准设备及方法

技术领域

本发明涉及无线通信技术领域的阵列天线校准技术，具体地说，涉及校准阵列天线发射链路的装置和方法，不仅适用于相控阵雷达系统的发射链路的幅度相位一致性校准，而且适用于无线通信系统中采用阵列天线的智能天线基站发射链路的在线校准。

技术背景

在蜂窝式无线通信系统中，随着用户数量的增加，频谱的拥塞和同信道干扰越来越严重，为了解决这些问题，希望通过使用智能天线技术及阵列信号处理技术来改善蜂窝式无线通信系统的通信质量，扩大基站的覆盖范围，提高系统容量。

对于无线通信网络中的一个基站而言，其接收到的上行信号中既有本小区移动台发出的信号，还有其他小区移动台发出的同频信号。当无线通信网络中的小区越多时，同频干扰就越严重，因此同频干扰会直接影响基站和移动台的接收效果，使得基站的有效覆盖半径降低，通信质量变差。为了解决同频干扰所带来的问题，基站需能够对上行信号实现选择接收来抑制干扰，对下行信号实现定向发送，即下行波束的主瓣指向期望的用户，而在其他用户方向形成零点或强度较低的波束旁瓣，这样可以减少小区之间的同信道干扰，扩大小区覆盖范围并改善通信质量。

实现基站的定向接收和发送可以采用传统的波束形成技术，例如自适应波束形成技术。采用自适应波束形成技术时，波束的主瓣可以始终指向期望移动用户的方向，且可以跟随用户的移动。在时分双工（TDD）模式下，上行下行信号在空中的传播路径是对称的，即上行信号和下行信号的传播路径相同，只是传播方向相反，因此可将通过自适应算法计算出的波束权值直接应用于下行方向，即可实现定向发送。但是，由于接收通道间以及发射链路间存在幅相误差，直接应用上行波束权值会影响下行的指向精度，因此需要对上下行通道和馈线进行校正以补偿幅相误差。在频分双工（FDD）模式下，由于上下行的频点不同，因此上下行的信道也不同，上行权值也就不能直接应用于下行。但是通过上行可以估计出信号的来波方向 DOA，DOA 信息可以应用于下行指导发送，但是要形成给定指向的波束，也必须对发射链路和馈线进行校正。

除了自适应波束形成方法，还可以采用相对简单的固定多波束方法来实现定向接收和发送。固定多波束形成是用几个固定指向的上行波束和下行波束覆盖整个扇区的接收和发送，固定多波束形成的波束权值可以通过仿真的方法确定，但是由于仿真时无法确定实际系统的上行下行通道的幅相特性，因此只能认为上下行通道的幅相特性是一致的，和自适应波束形成方法类似，需要对下行波束进行准确地赋形，必须对发射链路和馈线进行校正。

在无线通信系统中，下行公共信道是广播发送的，如果采用数字波束形成，可以通过仿真计算获得一组全向波束权值进行全向广播覆盖，或计算获得一个宽波束权值进行下行扇区

广播覆盖。如果采用巴特勒 (Butler) 矩阵进行波束形成, 需要事先计算或测量 Butler 矩阵的等效波束权值, 然后在基带进行二次波束形成以解决下行公共信道的发送问题。同理, 要对上述方法形成的宽波束进行准确地赋形, 也必须对发射链路和馈线进行校正。

现有的阵列天线及发射链路的校正方法很多, 下面给出几种常用的方法。

5 (1) 美国专利 4,488,155 “Method and apparatus for self-calibration and phasing of array antenna” 和中国专利申请 01800020.7 “阵列天线无线通信装置和校准方法” 给出了一类校准阵列天线和发射链路的方法, 这种方法是在工程现场用仪器测量各个发射链路的增益和相位, 然后用测量结果来校准阵列, 这种方法最大的缺点是采用离线校准的方式, 无法对时变的阵列误差进行校准, 不利于工程使用和维护, 特别不适合已经投入运营的通信系
10 统。

(2) 美国专利 6,615,024 “Method and apparatus for determining signatures for calibrating a communication station having an antenna array”、中国专利申请 00815528.3 “用于校准智能天线阵列的方法与装置” 和中国专利申请 02142694.5 “用于校准阵列天线的装置和方法” 也给出了一类校准阵列天线的方法。在这些技术方案中, 需在天线
15 阵的远场区域或近场区域放置一个信标天线以及相应的校准信号收发信机。在进行上行校准时, 由信标天线发送校准信号, 基站接收校准信号; 在进行下行校准时, 由基站发送校准信号, 信标天线接收校准信号, 然后计算出基站上下行链路的校准权值。这种校准方法的优点是可以对整个收发链路的幅度相位的一致性进行校准, 但由于需要校准信号收发信机、信标天线等设备, 因此增加了基站实现的复杂程度和成本, 另外信标天线放置在远场区域时会产生比较严重的多径信号影响, 而放置在近场区域时校准信号到达天线阵时是非平面波, 因此
20 导致校准权值的计算很复杂。

(3) 美国专利 6,600,445 “Method and device for calibrating smart antenna array”、6,236,839 “Method and apparatus for calibrating a smart antenna array”、6,157,340 “Adaptive antenna array subsystem calibration”、中国专利申请 01112987.5 “智能天线通道阵列校正方法及装置”、01122536.X “一种闭环校正的双极化智能天线阵系统”、
25 01809947.5 “阵列天线接收装置的校正系统” 和 03102791.1 “阵列天线校准装置和阵列天线校准方法” 都给出了一类阵列天线的校准方法。在这一类方法中, 认为各天线单元和相应的天馈线的增益和相位的不一致性误差是非时变的, 首先用仪器测量这部分的增益和相位, 并保存该测量结果, 然后在每个链路的射频前端设计一个耦合器以及与该耦合器相连接的校准
30 信号收发信机, 校准方法与第 (2) 类校准方法基本类似, 由于计算获得的校准权值不是整个链路的校准权值, 因此需要用测量结果进行修正。这种方法相比于第 (2) 类方法, 其优点在于不使用信标天线和相应的天馈线, 但仍然需要校准信号收发信机, 对天线单元和天馈线的幅度相位特性需要测量, 导致校准装置复杂, 成本较高。

发明内容

35 本发明所要解决的技术问题在于提供一种阵列天线发射链路的校准设备及方法, 克服现

有阵列校准技术中校准装置复杂、需要专用的校准信号收发装置、天馈线的幅度相位特性需要测量以及工程实用困难等缺点，简化系统的复杂度和实现难度。

本发明所述阵列天线发射链路的校准设备，所述阵列天线发射链路包括阵列发信机、 n 个功率放大器、 n 个上下行信号分离装置和 n 个天线单元，阵列发信机、 n 个功率放大器和 n 个上下行信号分离装置位于基站中，基带信号处理模块的输出进入阵列发信机中，由阵列发信机发出 n 路信号，经过功率放大器和上下行信号分离装置后，从天线单元发送出去；

所述校准设备包括功率检测信号分离装置、功率检测信号馈电装置、功率检测装置、信号合成装置和阵列校准装置；

所述功率检测信号分离装置，接收来自上下行信号分离装置的信号，滤除射频信号中的直流信号，并将高频的射频信号发送给所述功率检测信号馈电装置；同时，从所述功率检测信号馈电装置发送的信号中提取功率信号，进行校准权值调整，将调整后的校准权值发送给所述阵列校准装置；

所述功率检测信号馈电装置，一方面将所述功率检测信号分离装置输出的高频射频信号发送给所述信号合成装置，一方面将所述功率检测装置输出的功率信号与高频射频信号合路，并将混合信号发送到所述功率检测信号分离装置；

所述功率检测装置，用于对来自所述信号合成装置的射频信号进行功率检测，并输出功率信号给所述功率检测信号馈电装置；

所述信号合成装置与 n 个天线单元相连，用于合成射频信号，输出给所述功率检测装置；

所述阵列校准装置，位于基带信号处理模块与阵列发信机之间，用于根据调整后的校准权值对阵列天线发射链路进行校准。

在本发明校准设备中，所述信号合成装置、功率检测装置和功率检测信号馈电装置可与 n 个天线单元组成一个室外单元，通过一组射频电缆与基站相连。

本发明所述阵列天线发射链路的校准方法，包括以下步骤：首先获取发射链路的增益校准权值初始值和相位校准权值初始值；然后计算发射链路的增益校准权值和相位校准权值；使用上述计算出的校准权值对阵列发射链路的增益和相位进行校准。

本发明所述设备及方法与现有阵列校准技术相比，不使用专门用于阵列天线校准的校准信号收发装置和信标天线，而采用信号功率检测的方法来计算发射增益校准权值和发射相位校准权值，算法简单，其收敛速度较快，收敛精度也比较高；另外在进行校准时无需专用的校准信号引入系统，不影响系统正常通信。本发明还大大简化了系统的复杂度，便于工程应用。

附图说明

图1是本发明校准设备的结构示意图；

图2是第一实施例中信号合成装置1、功率检测装置2和功率检测信号馈电装置3的示意图；

图3是第一实施例中功率检测信号分离装置4的示意图；

图 4 是第二实施例中信号合成装置 1、功率检测装置 2 和功率检测信号馈电装置 3 的示意图;

图 5 是第二实施例中功率检测信号分离装置 4 的示意图;

图 6 是本发明的发射链路增益校准的流程示意图;

5 图 7 是适用于第一实施例所示校准设备的发射链路相位校准流程示意图;

图 8 是适用于第二实施例所示校准设备的发射链路相位校准流程示意图。

具体实施方式

下面结合附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

10 本发明技术方案的核心思想在于通过检测发射信号功率值来计算发射链路的校准权值,实现对阵列天线的发射链路的校准。

如图 1 所示,本发明提供的校准设备包括位于室外单元 100 中的信号合成装置 1、信号功率检测装置 2 和功率检测信号馈电装置 3,以及位于基站 300 中的功率检测信号分离装置 4 和阵列校准装置 5,室外单元 100 与基站 300 之间通过射频电缆 200 通信。而阵列天线发射链路一般可由基带信号处理模块、阵列发信机 6、 n 个功率放大器 7、 n 个上下行信号分离装置 8 和 n 个天线单元构成,除天线单元位于室外单元 100 以外,其余装置均处于基站 300 中。

20 当对阵列天线的发射链路进行校准时,阵列发信机 6 发出一路或多路下行信号,经过各自链路的功率放大器 7 放大功率后,再通过上下行信号分离装置 8 后到达功率检测信号分离装置 4。在功率检测信号分离装置 4 中,滤除射频信号中的直流信号,高频的射频信号可以直接通过,并通过射频电缆 200 发送到室外单元 100 中的功率检测信号馈电装置 3。高频的射频信号通过功率检测信号馈电装置 3 到达信号合成装置 1,一部分射频信号在信号合成装置 1 中被分离出来,剩余的射频信号通过 n 个天线单元发射出去。分离出来的射频信号被发送给功率检测装置 2 进行功率检测,然后由功率检测装置 2 将功率信号输出给功率检测信号馈电装置 3。功率检测信号馈电装置 3 将功率信号与高频的射频信号合路,并将混合信号通
25 过射频电缆 200 发送到功率检测信号分离装置 4。然后功率检测信号分离装置 4 从混合信号中提取出功率信号,并调整校准权值,再将调整后的校准权值发送给阵列校准装置 5。阵列校准装置 5 位于基带信号处理模块与阵列发信机 6 之间,收到调整后的校准权值后,对阵列天线的发射链路进行校准,控制阵列发信机 6 的输出。

30 图 2 给出了信号合成装置 1、功率检测装置 2 和功率检测信号馈电装置 3 的一个实施例,适用于基站的下行(射频)波束采用巴特勒矩阵形成的情况。

在本实施例中,信号合成装置 1 包括巴特勒矩阵、 $(n-1)$ 个耦合器 9、 $(n-1)$ 个滤波器 10 和 $(n-1)$ 个可调衰减器 11,其中耦合器 9、滤波器 10 和可调衰减器 11 只在前 $(n-1)$ 个发射链路上有。高频的射频信号直接从功率检测信号馈电装置 3 通过后到达信号合成装置 1 中,在信号合成装置 1 中进行射频波束形成,波束形成后的每一路射频信号中有少部分射频信号通
35 过耦合器 9 分离出来,分离射频信号时,对源射频信号造成的衰减应不大于 1dB,例如可选

择分离出的射频信号的功率是源信号功率的 $1/1000$ 。剩余的大部分射频信号通过天线单元发射出去。分离出来的射频信号经过滤波器 10 的滤波和可调衰减器 11 的衰减后进入信号功率检测装置 2 中。

由于巴特勒矩阵的下行波束形成链路可以等效为一个功分器和一些移相器组成的网络，
5 当只有一个发射链路发射信号时，巴特勒矩阵与每个天线单元的接口都有信号输出，而且每个端口输出的信号功率相同，只是信号的相位不同，可以等效成一个功分器；当所有的下行链路发射信号时，巴特勒矩阵与每个天线单元的接口都有信号输出，取其中任意一个输出端口的信号来看，其特性是所有下行发射链路发射的信号的合成，等效为一个信号合路器。因此在进行发射链路校准时，可以直接应用巴特勒矩阵的信号合成和信号功分特性，不需要专用的信号合路器，信号合成直接在主链路上完成。为了不影响高频射频信号接收和发射，在
10 进行功率检测前必须用耦合器 9 耦合一部分信号用于功率检测。

信号功率检测装置 2 包括 $(n-1)$ 个检波器 12 和 $(n-1)$ 个放大器 13，对应第 1 发射链路至第 $(n-1)$ 发射链路，第 n 发射链路只用于传输电源信号，向室外单元 100 供电。信号合成装置 1 输出的信号经过检波和放大处理后，形成功率信号，输出到功率检测信号馈电装置 3。
15 由于采用巴特勒矩阵作为信号合成装置 1，当只有第 n 发射链路发射信号时，该发射链路的信号功率可以从巴特勒矩阵的其他天线单元输出口检测到，因此该发射链路上的检波器和放大器等装置可以省略。

功率检测信号馈电装置 3 包括 n 个信号馈电单元，分别对应 n 个发射链路，每个信号馈电单元都包括：感性电路 L、容性电路 C1 和容性电路 C2。对于第 1 发射链路至第 $(n-1)$ 发射
20 链路中的信号馈电单元，其中感性电路 L 用于将信号功率检测装置 2 输出的功率信号中的低频信号与高频的射频信号合路，容性电路 C2 用于滤除功率信号中的高频分量，容性电路 C1 则用于防止功率检测信号中的低频信号发送到天线单元；而第 n 发射链路上的感性电路 L 是用于将电源信号从高频的射频信号中分离出来，容性电路 C2 用于滤除电源信号中的高频分量，容性电路 C1 可以防止电源信号发送到天线单元。前 $(n-1)$ 路功率信号的低频信号通过感
25 性电路 L 和容性电路 C2 与高频的射频信号合路，合路后的混合信号通过相应的射频电缆 200 传输到功率检测信号分离装置 4。

如图 3 所示，功率检测信号分离装置 4 包括： n 个感性电路 L、 n 个容性电路 C3、 n 个容性电路 C4、 $(n-1)$ 个 A/D 转换器和校准权值计算装置 14，其中第 n 发射链路没有 A/D 转换器。对于第 1 至第 $(n-1)$ 发射链路，感性电路 L 用于把功率信号从合路信号中分离出来，容性电
30 路 C4 用于滤除功率信号中的高频分量，容性电路 C3 则防止功率信号发送给对应发射链路的上下行信号分离装置 8；而对于第 n 发射链路，感性电路 L 用于把电源信号与高频的射频信号合路，容性电路 C4 用于滤除电源信号中的高频分量，容性电路 C3 则防止电源信号发送到第 n 上下行信号分离装置 8。混合信号输入后，通过第 1 至第 $(n-1)$ 发射链路的感性电路 L 和容性电路 C4 提取出低频的功率信号，并通过容性电路 C3 从混合信号中滤除功率信号。然后低频的功率信号经过 A/D 转换器进行 A/D 变换，变换后的功率信号发送到校准权值计算装
35

置 14 中, 校准权值计算装置 14 根据收到的功率信号的大小调整校准权值。调整后的校准权值发送到阵列校准装置 5 中, 用于校准各个发射链路。

通过图 2 和图 3 所示的装置, 可以对阵列天线的发射链路不断进行校准, 直到发射链路满足一致性要求为止。

5 图 4 给出了信号合成装置 1、功率检测装置 2 和功率检测信号馈电装置 3 的另一个实施例, 适用于在基站的基带进行下行波束形成的情况。

在本实施例中, 信号合成装置 1 由 n 个耦合器 15、 n 个滤波器 16 和一个 n 路信号合路器 17 组成。高频的射频信号直接从功率检测信号馈电装置 3 通过后到达信号合成装置 1 中。每一路射频信号中有少部分的射频信号被耦合器 15 分离出来, 剩余大部分射频信号通过 n 个天线单元发射出去。被分离出来的射频信号经过滤波器 16 的处理后送入合路器 17 中, 然后将合路后的射频信号输出给功率检测装置 2。

功率检测装置 2 由检波器 18 和放大器 19 组成。合路后的射频信号经过检波器 18 和放大器 19 的处理后形成功率信号, 送入功率检测信号馈电装置 3 中。

功率检测信号馈电装置 3 包括: 在第 1 发射链路和第 n 发射链路上的感性电路 L 、容性电路 $C1$ 和容性电路 $C2$, 其中第 1 发射链路上的感性电路 L 用于把功率信号中的低频信号与高频的射频信号合路, 容性电路 $C2$ 用于滤除功率信号中的高频分量, 容性电路 $C1$ 则防止功率信号中的低频信号发送到天线单元; 第 n 发射链路上的感性电路 L 用于把电源信号从高频的射频信号中分离出来, 容性电路 $C2$ 用于滤除电源信号中的高频分量, 容性电路 $C1$ 则防止电源信号发送到天线单元。功率信号被第 1 发射链路的容性电路 $C2$ 滤波后通过感性电路 L 与第 1 发射链路的高频射频信号合路。由于只有一路功率信号, 实质上该路功率信号可以和任意一条链路的高频信号合路后传送到基站, 只需在相应的链路上设置感性电路 L 、容性电路 $C1$ 和容性电路 $C2$ 。在本实施例中, 选择了与第 1 发射链路的高频信号合路。

合路后的混合信号通过相应的射频电缆 200 传输到基站 300 中的功率检测信号分离装置 4。

25 如图 5 所示, 功率检测信号分离装置 4 包括: 在第 1 发射链路和第 n 发射链路上的感性电路 L 、容性电路 $C3$ 和容性电路 $C4$, 还包括了 A/D 转换器和校准权值计算装置 20; 其中第 1 发射链路上的感性电路 L 是用于把功率信号从合路信号中分离出来, 容性电路 $C4$ 是用于滤除功率信号中的高频分量, 容性电路 $C3$ 则防止功率信号发送到第 1 上下行信号分离装置 8; 而第 n 发射链路上的感性电路 L 是用于将电源信号与高频的射频信号合路, 容性电路 $C4$ 是用于滤除电源信号中的高频分量, 容性电路 $C3$ 则防止电源信号发送到第 n 上下行信号分离装置 8。混合信号在功率检测信号分离装置 4 中, 首先通过第 1 发射链路上的感性电路 L 和容性电路 $C4$ 提取出低频的功率信号, 并通过容性电路 $C3$ 从混合信号中滤除功率信号, 然后低频的功率信号输出到 A/D 转换器中进行 A/D 变换, A/D 变换后的功率信号发送到校准权值计算装置 20 中。校准权值计算装置 20 根据功率信号的大小调整校准权值, 并将调整后的校准权值发送给阵列校准装置 5, 用于校准各个发射链路。

通过图 4 和图 5 所示的装置, 可以对阵列天线的发射链路不断进行校准, 直到发射链路满足一致性要求为止。

在本发明中, 通过信号合成装置 1 从每个天线单元 (或从基站的每个天线口) 耦合一定能量的下行信号, 然后把耦合的下行信号送入信号功率检测装置 2 中进行信号功率测量, 因此本发明不需要通过外场信标天线进行合成信号功率的测量。

本发明提供的阵列天线的发射链路的校准方法包括以下步骤: 首先获取发射链路的增益校准权值初始值和相位校准权值初始值; 然后计算发射链路的增益校准权值和相位校准权值; 使用上述计算出的校准权值对阵列发射链路的增益和相位进行校准。下面对本发明方法的每一步骤进行详细地介绍。

校准权值初始值的计算可以在基站投入运营前完成。

控制基带信号使基站同时只有一个链路发射信号, 调整该链路的增益校准权值, 使该链路的发射信号功率达到额定值, 则此时的增益校准权值即是该链路的增益校准权值的初始值。对基站的所有发射链路执行上述操作, 获得每个发射链路的增益校准权值的初始值。

获得发射链路相位校准权值的初始值的方法根据下行波束形成方式的不同略有区别。

对于采用巴特勒矩阵实现下行波束形成的第一实施例, 首先在基带控制所有发射链路发射相同相位的信号, 然后选定第 1 发射链路作为参考通道, 其余发射链路作为被校准通道, 调整被校准通道的发射信号相位, 使得第 1 天线单元的信号功率最高, 其余天线单元的信号功率最低, 保存此时发射链路的相位调整系数, 用向量 $[0 \ \phi_{adj1} \ \cdots \ \phi_{adjn}]$ 表示。然后计算巴特勒矩阵的等效发射系数矩阵的逆矩阵 W_{but}^H 或 W_{but}^{-1} , 并选取上述逆矩阵的第一行向量, 用

$V_{butler,1} = [\phi_{1,1} \ \phi_{1,2} \ \cdots \ \phi_{1,n}]$ 表示, 则发射链路的相位校准权值的初始值为

$$\begin{bmatrix} 0 & \phi_{adj2} & \cdots & \phi_{adjn} \\ \phi_{1,1} & \phi_{1,2} & \cdots & \phi_{1,n} \end{bmatrix}.$$

对于在基带进行下行波束形成的第二实施例, 首先选定一个发射链路作为参考通道, 其余发射链路作为被校准通道, 在基带控制参考通道和一个被校准通道同时发射信号, 调整该被校准通道的基带信号的相位, 使得这两个通道发射的信号合成信号的功率最低, 此时该被校准通道的相位调整系数的共轭就是该通道的相位校准权值的初值; 如果合成信号的功率最高, 那么该被校准通道的相位调整系数就是该通道的相位校准权值的初始值。选择另一个被校准通道, 重复上述操作, 直至获得所有发射链路的相位校准权值的初始值。

在获得了所有发射链路的增益校准权值的初始值和相位校准权值的初始值后, 基站投入正常运营, 可对发射链路的校准权值进行计算, 该步骤是本发明方法的核心。校准权值的计算包括增益校准权值的计算和相位校准权值的计算。

首先计算发射链路的增益校准权值, 并校准发射链路的增益。

对于智能基站, 每条发射链路的额定发射功率是确定的、已知的功率值 P_{TX} , 但由于每

条链路的发信增益不同, 则每条发射链路的发射信号功率不一定能达到额定功率值 P_{TX} 。在校准发射链路增益时, 只需将每条发射链路的发射信号功率值调整到额定功率值 P_{TX} , 就完成了发射链路的增益校准。

图 2 和图 3 所示的第一实施例以及图 4 和图 5 所示的第二实施例的发射链路增益校准权值的计算方法是相同的。

在第一实施例中, 波束形成装置采用巴特勒矩阵。巴特勒矩阵的下行波束形成链路可以等效为一个功分器和一些移相器组成的网络, 当只有一个发射链路发射信号时, 巴特勒矩阵与每个天线单元的接口都有信号输出。假设该发射链路发射的信号功率为 P (dBm), 那么巴特勒矩阵的每个天线单元的接口输出信号功率为 $(P - 20\log_{10} N - P_{LOSS})$ (dBm), 其中 N 表示阵元数, P_{LOSS} 为巴特勒矩阵的链路损耗功率。

在第二实施例中, 信号合成装置 1 是由一个信号合路器 17、多个耦合器 15 和多个滤波器 16 组成的。当只有一个发射链路发射信号时, 假设耦合器 15 从该发射链路分离出的信号功率为 P (dBm), 那么信号合成装置 1 输出信号的功率为 $P - P_{LOSS}$ (dBm), P_{LOSS} 为信号合成装置 1 的链路损耗功率。

在智能基站系统中, 每条发射链路的增益校准权值是存储在固定位数存储器中的定点数, 因此发射链路的增益校准权值的值域范围是已知的, 而且每条发射链路的发射功率是随发信增益校准权值单调变化的, 那么在校准发信增益时, 以额定发射功率 P_{TX} 作为校准的基准功率值, 然后用优化算法调整每条发射链路的发信增益校准权值, 直到每条发射链路的发射功率都满足规定的发射功率 P_{TX} 为止。在本发明中, 发射链路的增益校准权值是一组 8 位定点数, 其值域范围是 $[0, 255]$, 因此调整发射链路的增益校准权值的方法可采用二分法。校准发射链路的增益的具体执行步骤如图 6 所示。

首先设置发射链路号 NumCh=1 (步骤 601), 判断链路号 NumCh 是否不大于阵列天线的发射链路数 n (步骤 602), 如果链路号大于发射链路数 n , 则增益校准结束 (步骤 611)。如果链路号小于等于发射链路数 n , 则在基带控制第 NumCh 条发射链路发射信号 (步骤 603); 然后检测发射信号的功率, 产生功率信号 (步骤 604)。对上述功率信号进行 A/D 变换, 获得发射信号的功率 P , 并判断该功率 P 与额定功率 P_{TX} 的差的绝对值是否小于允许的误差, 如 1dB (步骤 605), 如果小于则将当前发射链路号加 1 (步骤 606), 然后转至步骤 602; 如果大于等于允许的误差, 则判断是否可以继续校准 (步骤 607), 可以采用下述方法进行判断: 判断二分法的迭代次数是否超过设定的次数, 如果超过则认为不能继续校准; 如果没有超过设定的次数, 则进一步判断增益校准权值是否是最大或者相邻两次二分法迭代的权值是否相同, 如果增益校准权值已经最大或相邻两次二分法迭代的权值相同, 则认为不能继续校准。执行

步骤 607 后, 如果可以继续校准, 则采用二分法调整该发射链路的增益校准权值(步骤 608), 然后根据更新后的增益校准权值校准第 NumCh 条发射链路, 然后再转至步骤 602。如果不能继续校准, 则提示第 NumCh 条发射链路增益校准失败(步骤 610), 结束本次发射链路增益校准。

- 5 在校准了发射链路的增益权值后, 计算发射链路的相位校准权值, 并校准发射链路的相位。对于下行波束采用不同方式形成的情况, 发射链路相位校准方法略有区别。

图 2 和图 3 所示的第一实施例, 其下行波束的形成是采用巴特勒矩阵进行波束形成的。

通过理论计算或实际测量, 可以得到巴特勒矩阵对发射信号的加权系数。根据理论计算可知巴特勒矩阵的发射链路的等效加权系数矩阵是一个酉矩阵, 记为 W_{but} , 这个酉矩阵的共

- 10 扼转置矩阵为 W_{but}^H , 根据酉矩阵的性质有 $W_{but} W_{but}^H = E$ 。如果是实际测量的巴特勒矩阵的发射链路的等效加权系数矩阵, 则由于巴特勒矩阵本身的误差, 其等效加权系数矩阵不是一个酉矩阵, 但是有 $W_{but} W_{but}^{-1} = E$ 成立, E 为单位阵。

假设各个发射链路的幅度不一致的误差非常小, 且相位不一致的误差也非常小, 使得幅度不一致和相位不一致的误差对波束形成效果的影响可以忽略不计, 则选择等效加权系数矩

- 15 阵的共轭矩阵 W_{but}^H 或逆矩阵 W_{but}^{-1} 中的任意一个行向量 $V_{butler,i} = \{\phi_{i,1} \ \phi_{i,2} \ \dots \ \phi_{i,n}\}$ 作为一组波束权值, 当每个发射链路的基带信号幅度相位特性都相同时, 用这组波束权值对每路信号进行加权, 然后再传输到巴特勒矩阵进行射频波束形成, 那么预期的波束形成效果是: 在巴特勒矩阵的天线单元接口中只有一路天线单元端口有输出, 而其它天线单元端口没有信号输出。

- 20 但是对于实际的阵列发射链路来说, 由于各个链路的增益不一致和相位不一致的影响, 当上述波束形成后的信号通过阵列发射链路时, 相当于发射链路对波束进行了再次加权, 而且这种幅度相位的加权对每条发射链路都不相同, 虽经过巴特勒矩阵对信号进行再次波束形成, 但上述预期的波束形成效果不会出现。

- 在对发射链路相位校准时, 将理论计算的波束权值 $V_{butler,i} = \{\phi_{i,1} \ \phi_{i,2} \ \dots \ \phi_{i,n}\}$ 作为发射
25 链路的相位校准权值的初值, 其中 $i \leq n$, 当阵列发射链路的增益和相位被校准后, 波束权值 $V_{butler,i} = \{\phi_{i,1} \ \phi_{i,2} \ \dots \ \phi_{i,n}\}$ 可以使巴特勒矩阵波束形成后只在第 i 个天线单元端口有信号输出, 而在其它天线单元端口都没有信号输出。在发射链路相位校准过程中, 不断调整这组波束权值, 直到巴特勒矩阵波束形成后的信号只在第 i 个天线单元端口有信号输出, 而在其它天线单元端口都没有输出为止, 此时发射链路的波束权值记为 $\{w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n\}$, 那么最后

- 30 发射链路的相位校准权值为 $W_{PHASE} = \begin{Bmatrix} \frac{w_1}{\phi_{i,1}} & \frac{w_2}{\phi_{i,2}} & \dots & \frac{w_n}{\phi_{i,n}} \end{Bmatrix}$ 。

在本发明中选择发射链路的相位校准权值是一组 8 位定点数, 值域范围是[0, 255], 采用直接搜索法对相位校准权值进行计算。校准发射链路的相位的具体执行步骤如图 7 所示。

首先进行参数设置, 阵列天线的发射链路共有 n 条, 设置发射链路号 NumCh=1, 设置相位校准权值的初值 $W_{\text{phase}}(0)=[0, 0, \dots, 0]$, 最大循环次数为 M , 循环变量 loop 的初值为 0 (步骤 701)。在基带控制所有发射链路的发射信号 (步骤 702), 检测发射信号的功率, 形成功率信号 (步骤 703), 然后对上述功率信号进行 A/D 变换, 并获得发射信号功率 P , 保存该功率值 (步骤 704)。将第 NumCh 条发射链路的相位校准权值加 1 (步骤 705), 判断第 NumCh 条发射链路的相位校准权值是否不超过相位校准权值的值域范围 (步骤 706), 如 255。如果不超过, 则对第 NumCh 条发射链路的相位进行校准 (步骤 708), 然后转至步骤 703。如果超过了值域范围, 则判断发射信号功率 P 的变化范围是否满足要求 (步骤 707), 如果不满足, 则提示第 NumCh 条发射链路的相位校准失败 (步骤 709), 结束本次相位校准过程。如果满足要求, 则记录发射信号功率 P 的最大值对应的相位校准权值 W_{NumCh} (步骤 710), 再将发射链路号加 1, 即 $\text{NumCh} = \text{NumCh} + 1$ (步骤 711), 然后判断发射链路号是否超过 n (步骤 712), 如果没有超过, 则转至步骤 703; 如果超过了, 则设置发射链路号 NumCh 为 1, 将循环变量加 1, 即 $\text{loop} = \text{loop} + 1$, 相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop})=[w(1), w(2), \dots, w(n)]$ 就是 W_{NumCh} (步骤 713)。判断当前相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop})$ 是否等于上一次的相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop}-1)$ (步骤 714), 如果相等, 则表示发射链路相位校准成功, 用巴特勒矩阵的发射链路的等效加权系数矩阵的酉矩阵 W_{but}^H 或逆矩阵 W_{but}^{-1} 中的第一个行向量 $V_{\text{butler},1}$ 来修正计算的相位校准权值, 即 $W_{\text{PHASE}} = W_{\text{PHASE}}(\text{loop})/V_{\text{butler},1}$, 相位校准结束 (步骤 715)。如果不相等, 则判断循环变量 loop 是否大于最大循环次数 M (步骤 716), 如果是, 则提示发射链路相位校准失败, 相位校准结束 (步骤 717), 否则转至步骤 703。当相位校准成功后, 用新的相位校准权值替换相位校准权值的初始值。

图 4 和图 5 所示的第二实施例, 在基站的基带中实现下行波束形成。在该实施例下的发射链路相位校准方法如下所述。

以阵列天线中任意一个发射链路作为基准, 然后用算法调整其余发射链路的相位, 使其余发射链路的相位与这个基准链路的相位相同。判断相位相同的准则是输出信号的功率值达到最大。

当智能基站的发射链路的发信增益被校准后, 智能基站的发射链路的冲击响应特性可描述为 $A' = [ae^{j\phi_1} \quad ae^{j\phi_2} \quad \dots \quad ae^{j\phi_n}]^T$, 其中 a 表示发射链路的幅度 (增益), ϕ_n 表示第 n 条发射链路的相位, T 表示转置运算。假设发射链路的相位校准权值为 $W_{\text{PHASE}} = [1 \quad e^{j\beta_2} \quad \dots \quad e^{j\beta_n}]^T$, 那么经过相位校准后的发射链路的冲击响应特性可以描述为 $A = W_{\text{PHASE}} \cdot A' = [ae^{j\phi_1} \quad ae^{j(\phi_2+\beta_2)} \quad \dots \quad ae^{j(\phi_n+\beta_n)}]^T$, 其中 β_n 表示相位校准权值的相位。

当下行基带信号为 s 时, 下行波束形成权值可设置为 $n \times n$ 的单位阵 e_n , 那么阵列天线的输出为 $X = e_n \cdot A \cdot s + n = A \cdot s + n$ 。

假设各天线单元以线阵方式进行组阵, 那么这组波束权值在垂直于天线阵平面的方向上合成的信号可表示为 $S = ase^{j\phi_1} \times (1 + e^{j(\phi_2 - \phi_1 + \beta_2)} + \dots + e^{j(\phi_n - \phi_1 + \beta_n)})$, 可以看出
 5 $|1 + e^{j(\phi_2 - \phi_1 + \beta_2)} + \dots + e^{j(\phi_n - \phi_1 + \beta_n)}| \leq n$, 因此合成的信号 S 有最大模值, 为 $|S| = nas$, 此时
 $\beta_2 = \phi_1 - \phi_2, \dots, \beta_n = \phi_1 - \phi_n$ 。

因此通过调整 β_2, \dots, β_n 的值, 可以获得最大强度的合成信号, 当合成信号强度最大时, 对应的向量 $W_{PHASE} = [1 \ e^{j\beta_2} \ \dots \ e^{j\beta_n}]^T = [1 \ e^{j(\phi_1 - \phi_2)} \ \dots \ e^{j(\phi_1 - \phi_n)}]^T$ 就是阵列天线发射链路的校准权值。那么校准后的发射链路的冲击响应特性可描述为
 10 $A = W_{PHASE} \cdot A' = [ae^{j\phi_1} \ ae^{j(\phi_2 + \phi_1 - \phi_2)} \ \dots \ ae^{j(\phi_n + \phi_1 - \phi_n)}]^T = [ae^{j\phi_1} \ ae^{j\phi_1} \ \dots \ ae^{j\phi_1}]^T$, 从上式可以看出, 校准后的各发射链路的相位特性已经相同。

下面给出计算发射链路相位校准权值的方法, 在调整 β_2, \dots, β_n 的值时, 假设
 $J = |nas - p(n)|$ 作为目标函数, 其中 $p(n)$ 是合成信号的功率值, 将 β_2, \dots, β_n 作为变量,
 使用优化算法计算出最优的相位校准权值。可以看出这是一个 $(n-1)$ 维的无约束非线性规划问题, 计算发射相位校准权值的算法很多, 如用改进的单纯型法或其他优化算法都有比较
 15 快收敛速度和比较高的收敛精度。在智能基站系统中, 发射相位校准权值也是用固定位数存储器保存的定点数, 因此发射相位校准权值也有固定的值域范围。在本发明中发射链路的相位校准权值是一组 8 位定点数, 值域范围是 $[0, 255]$, 采用了直接搜索法进行相位校准权值的计算, 具体执行步骤如图 8 所示。

20 首先, 设置发射链路号 NumCh=2, 将所有发射链路的相位校准权值初值设置为 0, 即 $W_{phase} = [0, 0, \dots, 0]$ (步骤 801)。判断发射链路号 NumCh 是否小于或等于阵列中的发射链路数 n (步骤 802), 如果大于, 则结束此次发射链路相位校准; 如果小于或等于 n , 则在基带控制第 1 条发射链路和第 NumCh 条发射链路的发射信号 (步骤 803)。检测发射信号的功率, 形成功率信号 (步骤 804), 然后对上述功率信号进行 A/D 变换, 获得发射信号的功率 P , 并
 25 保存该功率值 (步骤 805)。将第 NumCh 条发射链路的相位校准权值加 1 (步骤 806), 判断第 NumCh 条发射链路的相位校准权值是否小于或等于相位校准权值的值域范围 (步骤 807), 如 255, 如果满足小于或等于值域范围, 则对第 NumCh 条发射链路相位进行校准 (步骤 809), 然后转至步骤 802。如果大于值域范围, 则判断发射信号功率 P 的变化范围是否满足要求 (步骤 808), 如果不满足要求, 则提示第 NumCh 条发射链路的相位校准失败 (步骤 812); 如果
 30 满足, 则记录发射信号功率 P 最大值对应的相位校准权值 (步骤 810), 然后将发射链路号加

1, 即 $\text{NumCh} = \text{NumCh} + 1$ (步骤 811), 然后转至步骤 802。当相位校准成功后, 用新的相位校准权值替换相位校准权值的初始值。

对于发射链路的增益校准和相位校准, 按照本发明的思路, 也可以用其他优化算法来完成, 其实质并没有脱离本发明的精神实质。

5 最后所应说明的是, 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制, 尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明, 本领域的普通技术人员应当理解, 可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换, 而不脱离本发明技术方案的精神和范围, 其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

10

15

20

25

30

35

权利要求书

1、 一种阵列天线发射链路的校准设备，所述阵列天线发射链路包括阵列发信机、 n 个功率放大器、 n 个上下行信号分离装置和 n 个天线单元，阵列发信机、功率放大器和上下行信号分离装置位于基站中，基带信号处理模块的输出进入阵列发信机中，由阵列发信机发出 n 路信号，经过功率放大器和上下行信号分离装置后，从天线单元发送出去；其特征在于，
5 所述校准设备包括功率检测信号分离装置、功率检测信号馈电装置、功率检测装置、信号合成装置和阵列校准装置；其中

所述功率检测信号分离装置，接收来自上下行信号分离装置的信号，滤除射频信号中的直流信号，并将高频的射频信号发送给所述功率检测信号馈电装置；同时，从所述功率检测
10 信号馈电装置发送的信号中提取功率信号，进行校准权值调整，将调整后的校准权值发送给所述阵列校准装置；

所述功率检测信号馈电装置，一方面将所述功率检测信号分离装置输出的高频射频信号发送给所述信号合成装置，一方面将所述功率检测装置输出的功率信号与高频射频信号合路，并将混合信号发送到所述功率检测信号分离装置；

15 所述功率检测装置，用于对来自所述信号合成装置的射频信号进行功率检测，并输出功率信号给所述功率检测信号馈电装置；

所述信号合成装置与 n 个天线单元相连，用于合成射频信号，输出给所述功率检测装置；

所述阵列校准装置，位于基带信号处理模块与阵列发信机之间，用于根据调整后的校准权值对阵列天线发射链路进行校准。

20 2、 根据权利要求1所述的阵列天线发射链路的校准设备，其特征在于，所述信号合成装置、功率检测装置和功率检测信号馈电装置可与 n 个天线单元组成一个室外单元，通过一组射频电缆与基站相连。

3、 根据权利要求1所述的阵列天线发射链路的校准设备，其特征在于，所述信号合成装置包括巴特勒矩阵、 $(n-1)$ 个耦合器、 $(n-1)$ 个滤波器和 $(n-1)$ 个可调衰减器，其中耦合器、滤波器和可调衰减器只在前 $(n-1)$ 个发射链路上有；所述耦合器，用于从通过巴特勒矩
25 阵形成的射频波束信号中分离出少部分射频信号；分离出来的射频信号经过滤波器的滤波和可调衰减器的衰减后，输出到信号功率检测装置中。

4、 根据权利要求3所述的阵列天线发射链路的校准设备，其特征在于，所述分离出的少部分射频信号对源射频信号造成的衰减应不大于1dB。

30 5、 根据权利要求3所述的阵列天线发射链路的校准设备，其特征在于，所述信号功率检测装置由 $(n-1)$ 个检波器和 $(n-1)$ 个放大器组成，对应前 $(n-1)$ 个发射链路；前 $(n-1)$ 路射频信号经过所述检波器和所述放大器的处理后形成功率信号，输出到所述功率检测信号馈电装置中。

6、 根据权利要求3所述的阵列天线发射链路的校准设备，其特征在于，所述功率检

测信号馈电装置包括 n 个信号馈电单元, 分别对应 n 个发射链路, 每个信号馈电单元都包括: 感性电路 L 、容性电路 $C1$ 和容性电路 $C2$;

对于第 1 发射链路至第 $(n-1)$ 发射链路上的信号馈电单元, 其中感性电路 L 用于将功率信号中的低频信号与高频的射频信号合路, 容性电路 $C2$ 用于滤除功率信号中的高频分量,

5 容性电路 $C1$ 则用于防止功率检测信号中的低频信号发送到天线单元;

而第 n 发射链路上的感性电路 L 是用于将电源信号从高频的射频信号中分离出来, 容性电路 $C2$ 用于滤除电源信号中的高频分量, 容性电路 $C1$ 用于防止电源信号发送到天线单元。

7、根据权利要求 3 所述的阵列天线发射链路的校准设备, 其特征在于, 所述功率检测信号分离装置 n 个感性电路 L 、 n 个容性电路 $C3$ 、 n 个容性电路 $C4$ 、 $(n-1)$ 个 A/D 转换器和
10 校准权值计算装置, 其中第 n 发射链路没有 A/D 转换器;

对于第 1 至第 $(n-1)$ 发射链路, 感性电路 L 用于把功率信号从合路信号中分离出来; 容性电路 $C4$ 用于滤除功率信号中的高频分量; 容性电路 $C3$ 则防止功率信号发送给对应发射链路的上下行信号分离装置;

而对于第 n 发射链路, 感性电路 L 用于把电源信号与高频的射频信号合路; 容性电路 $C4$
15 用于滤除电源信号中的高频分量; 容性电路 $C3$ 则防止电源信号发送到第 n 个上下行信号分离装置;

所述 A/D 转换器, 用于对低频的功率信号进行 A/D 变换, 并发送到校准权值计算装置中;

所述校准权值计算装置, 用于根据收到的功率信号的大小调整校准权值。

8、根据权利要求 1 所述的阵列天线发射链路的校准设备, 其特征在于, 所述信号合成装置由 n 个耦合器、 n 个滤波器和一个 n 路信号合路器组成; 所述耦合器用于从所述功率检测信号馈电装置输出的高频射频信号中分离出少部分的射频信号; 被分离出来的射频信号经过所述滤波器的处理后送入所述合路器中, 然后将合路后的射频信号输出给所述功率检测装置。

9、根据权利要求 8 所述的阵列天线发射链路的校准设备, 其特征在于, 所述功率检测装置由一个检波器和一个放大器组成; 合路后的射频信号经过所述检波器和所述放大器的处理后形成功率信号, 并输出到功率检测信号馈电装置中。

10、根据权利要求 8 所述的阵列天线发射链路的校准设备, 其特征在于, 所述功率检测信号馈电装置包括在前 $(n-1)$ 个发射链路中的任一发射链路和第 n 发射链路上的感性电路 L 、容性电路 $C1$ 和容性电路 $C2$; 其中

30 任一发射链路上的感性电路 L 用于把功率信号中的低频信号与高频的射频信号合路, 合路后的混合信号传输到基站中的功率检测信号分离装置; 容性电路 $C2$ 用于滤除功率信号中的高频分量; 容性电路 $C1$ 则防止功率信号中的低频信号发送到天线单元;

第 n 发射链路上的感性电路 L 用于把电源信号从高频的射频信号中分离出来; 容性电路 $C2$ 用于滤除电源信号中的高频分量; 容性电路 $C1$ 则防止电源信号发送到天线单元。

35 11、根据权利要求 8 所述的阵列天线发射链路的校准设备, 其特征在于, 所述功率检

测信号分离装置包括在对应所述功率检测信号馈电装置中选择的任一发射链路和第 n 发射链路上的感性电路 L、容性电路 C3 和容性电路 C4，以及了 A/D 转换器和校准权值计算装置；其中

任一发射链路上的感性电路 L 是用于把功率信号从合路信号中分离出来；容性电路 C4 是用于滤除功率信号中的高频分量；容性电路 C3 则防止功率信号发送到上下行信号分离装置；

而第 n 发射链路上的感性电路 L 是用于将电源信号与高频的射频信号合路；容性电路 C4 是用于滤除电源信号中的高频分量；容性电路 C3 则防止电源信号发送到第 n 上下行信号分离装置；

所述 A/D 转换器，用于对低频的功率信号进行 A/D 变换，并发送到校准权值计算装置中；所述校准权值计算装置，用于根据收到的功率信号的大小调整校准权值。

12、一种阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，包括以下步骤：首先获取发射链路的增益校准权值初值和相位校准权值初始值；然后计算发射链路的增益校准权值和相位校准权值；使用上述计算出的校准权值对阵列发射链路的增益和相位进行校准。

13、根据权利要求 12 所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述获取发射链路的增益校准权值的初始值的步骤，进一步包括：控制基带信号使基站同时只有一个链路发射信号；调整该链路的增益校准权值，使该链路的发射信号功率达到额定值；则此时的增益校准权值即是该链路的增益校准权值的初始值；对基站的所有发射链路执行上述操作，获得每个发射链路的增益校准权值的初始值。

14、根据权利要求 12 所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述获取发射链路的相位校准权值的初始值的步骤，进一步包括：首先在基带控制所有发射链路发射相同相位的信号，然后选定第 1 发射链路作为参考通道，其余发射链路作为被校准通道，调整被校准通道的发射信号相位，使得第 1 天线单元的信号功率最高，其余天线单元的信号功率最低，保存此时发射链路的相位调整系数，用向量 $[0 \quad \phi_{adj1} \quad \cdots \quad \phi_{adjn}]$ 表示；计算巴特勒矩阵

的等效发射系数矩阵的逆矩阵，并选取上述逆矩阵的第一行向量，用 $V_{butler,1} = [\phi_{1,1} \quad \phi_{1,2} \quad \cdots \quad \phi_{1,n}]$ 表示，则发射链路的相位校准权值的初始值为

$$\begin{bmatrix} 0 & \phi_{adj2} & \cdots & \phi_{adjn} \\ \phi_{1,1} & \phi_{1,2} & \cdots & \phi_{1,n} \end{bmatrix}.$$

15、根据权利要求 12 所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述获取发射链路的相位校准权值的初始值的步骤，进一步包括：首先选定一个发射链路作为参考通道，其余发射链路作为被校准通道；在基带控制参考通道和一个被校准通道同时发射信号，调整该被校准通道的基带信号的相位，使得这两个通道发射的信号的合成信号的功率最低；此时该被校准通道的相位调整系数的共轭就是该通道的相位校准权值的初始值；选择另一个被校准通道，重复上述操作，直至获得所有发射链路的相位校准权值的初始值。

16、根据权利要求12所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述计算发射链路增益校准权值并调整增益的步骤，进一步包括：以额定发射功率作为校准的基准功率值，然后采用二分法计算每条发射链路的发信增益校准权值，根据计算后的增益校准权值调整发射链路的增益，直到每条发射链路的发射功率都满足规定的发射功率为止。

17、根据权利要求16所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述计算发射链路增益校准权值并调整增益的步骤，具体包括：

步骤1) 设置发射链路号 NumCh=1;

步骤2) 判断链路号 NumCh 是否不大于阵列天线的发射链路数，如果链路号大于发射链路数，则增益校准结束；

步骤3) 如果链路号小于等于发射链路数，则在基带控制第 NumCh 条发射链路发射信号；

步骤4) 检测发射信号的功率，产生功率信号；

步骤5) 对上述功率信号进行 A/D 变换，获得发射信号的功率；

步骤6) 判断该功率与额定功率的差的绝对值是否小于允许的误差，如果小于则将当前发射链路号加1，然后转至步骤2)；

步骤7) 如果大于等于允许的误差，则判断是否可以继续校准，如果可以，则采用二分法调整该发射链路的增益校准权值，然后根据更新后的增益校准权值校准第 NumCh 条发射链路，然后再转至步骤2)；

步骤8) 如果不能继续校准，则提示第 NumCh 条发射链路增益校准失败，结束本次增益校准。

18、根据权利要求17所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述步骤7) 中判断是否可以继续校准的步骤进一步包括：判断二分法的迭代次数是否超过设定的次数，如果超过则认为不能继续校准；如果没有超过设定的次数，则进一步判断增益校准权值是否是最大或者相邻两次二分法迭代的权值是否相同，如果增益校准权值已经最大或相邻两次二分法迭代的权值相同，则认为不能继续校准。

19、根据权利要求14所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述计算发射链路的相位校准权值并调整相位的步骤，进一步包括：选择巴特勒矩阵的发射链路的等效加权系数矩阵的共轭矩阵或逆矩阵中的任意一个行向量 $V_{butter,i} = \{\phi_{i,1} \quad \phi_{i,2} \quad \cdots \quad \phi_{i,n}\}$ 作为一组波束权值，对每路信号进行加权，然后由巴特勒矩阵进行射频波束形成，采用直接搜索法调整这组波束权值，直到巴特勒矩阵波束形成后的信号只在第 i 个天线单元端口有信号输出，而在其它天线单元端口都没有输出为止，此时发射链路的波束权值记为 $\{w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_n\}$ ，

那么最后发射链路的相位校准权值为 $W_{PHASE} = \left\{ \frac{w_1}{\phi_{i,1}} \quad \frac{w_2}{\phi_{i,2}} \quad \cdots \quad \frac{w_n}{\phi_{i,n}} \right\}$ 。

20、根据权利要求19所述的阵列天线发射链路的校准方法，其特征在于，所述计算发射链路的相位校准权值并调整相位的步骤，具体包括：

步骤 1) 设置发射链路号 NumCh=1, 设置相位校准权值的初值 $W_{\text{phase}}(0)=[0, 0, \dots, 0]$, 最大循环次数为 M, 循环变量 loop 的初值为 0;

步骤 2) 在基带控制所有发射链路的发射信号;

步骤 3) 检测发射信号的功率, 形成功率信号;

5 步骤 4) 对上述功率信号进行 A/D 变换, 并获得发射信号功率, 保存该功率值;

步骤 5) 将第 NumCh 条发射链路的相位校准权值加 1, 判断第 NumCh 条发射链路的相位校准权值是否不超过相位校准权值的值域范围; 如果不超过, 则对第 NumCh 条发射链路的相位进行校准, 然后转至步骤 3);

10 步骤 6) 如果超过了值域范围, 则判断发射信号功率的变化范围是否满足要求, 如果不满足, 则提示第 NumCh 条发射链路的相位校准失败;

步骤 7) 如果满足要求, 则记录发射信号功率的最大值对应的相位校准权值, 将发射链路号加 1, 然后判断发射链路号是否超过阵列天线的发射链路数, 如果没有超过, 则转至步骤 3);

15 步骤 8) 如果超过发射链路数, 则设置发射链路号 NumCh 为 1, 将循环变量加 1, 相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop})=[w(1), w(2), \dots, w(n)]$ 为发射信号功率的最大值对应的相位校准权值;

步骤 9) 判断当前相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop})$ 是否等于上一次的相位校准权值 $W_{\text{phase}}(\text{loop}-1)$, 如果相等, 则表示发射链路相位校准成功, 用巴特勒矩阵的发射链路的等效加权系数矩阵的逆矩阵的第一个行向量 $V_{\text{butler},1}$ 来修正计算的相位校准权值, 即

20 $W_{\text{PHASE}} = W_{\text{PHASE}}(\text{loop})/V_{\text{butler},1}$, 相位校准结束;

步骤 10) 如果不相等, 则判断循环变量 loop 是否大于最大循环次数 M, 如果是, 则提示发射链路相位校准失败, 相位校准结束; 否则转至步骤 3)。

21、根据权利要求 15 所述的阵列天线发射链路的校准方法, 其特征在于, 所述计算发射链路的相位校准权值并调整相位的步骤, 进一步包括: 以阵列天线中任意一个发射链路作为基准, 然后调整其余发射链路的相位, 使合成信号的强度最大, 则对应的向量 $W_{\text{PHASE}} = [1 \ e^{j\beta_2} \ \dots \ e^{j\beta_n}]^T = [1 \ e^{j(\phi_1-\phi_2)} \ \dots \ e^{j(\phi_1-\phi_n)}]^T$ 就是阵列天线发射链路的校准权值, 其中 ϕ_n 表示第 n 条发射链路的相位, T 表示转置运算。

22、根据权利要求 21 所述的阵列天线发射链路的校准方法, 其特征在于, 所述计算发射链路的相位校准权值并调整相位的步骤, 具体包括:

30 步骤 1) 设置发射链路号 NumCh=2, 将所有发射链路的相位校准权值初值设置为 0, 即 $W_{\text{phase}}=[0, 0, \dots, 0]$;

步骤 2) 判断发射链路号 NumCh 是否小于或等于阵列中的发射链路数, 如果大于, 则结束此次发射链路相位校准;

步骤 3) 如果小于或等于发射链路数, 则在基带控制第 1 条发射链路和第 NumCh 条发射链路的发射信号;

步骤 4) 检测发射信号的功率, 形成功率信号;

步骤 5) 对上述功率信号进行 A/D 变换, 获得发射信号的功率, 并保存该功率值;

5 步骤 6) 将第 NumCh 条发射链路的相位校准权值加 1 (步骤 806), 判断第 NumCh 条发射链路的相位校准权值是否小于或等于相位校准权值的值域范围, 如果小于或等于值域范围, 则对第 NumCh 条发射链路相位进行校准, 然后转至步骤 2);

步骤 7) 如果大于值域范围, 则判断发射信号功率的变化范围是否满足要求, 如果不满足要求, 则提示第 NumCh 条发射链路的相位校准失败;

10 步骤 8) 如果满足要求, 则记录发射信号功率 P 最大值对应的相位校准权值, 然后将发射链路号加 1, 转至步骤 2)。

15

20

25

30

35

1/8

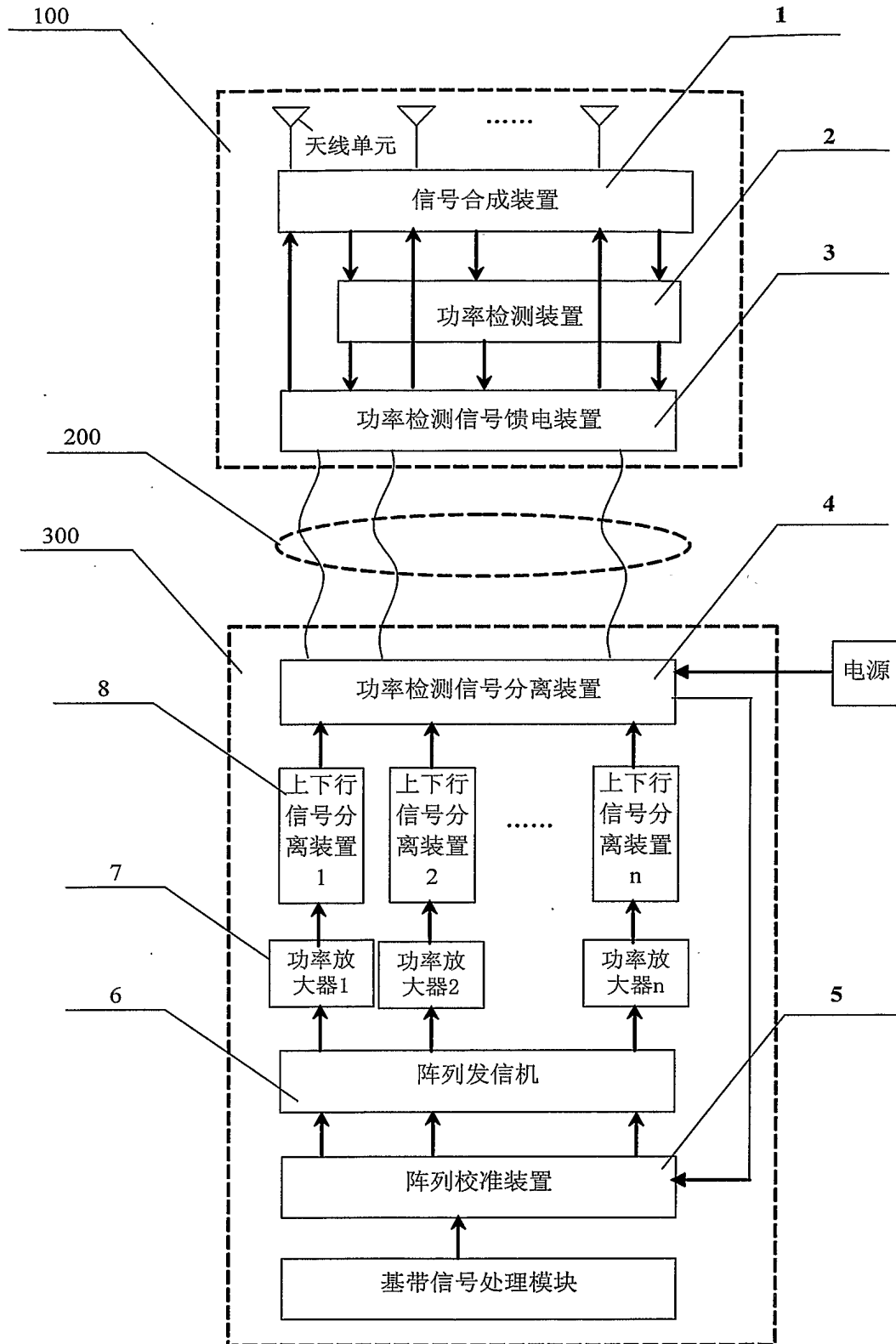


图 1

2/8

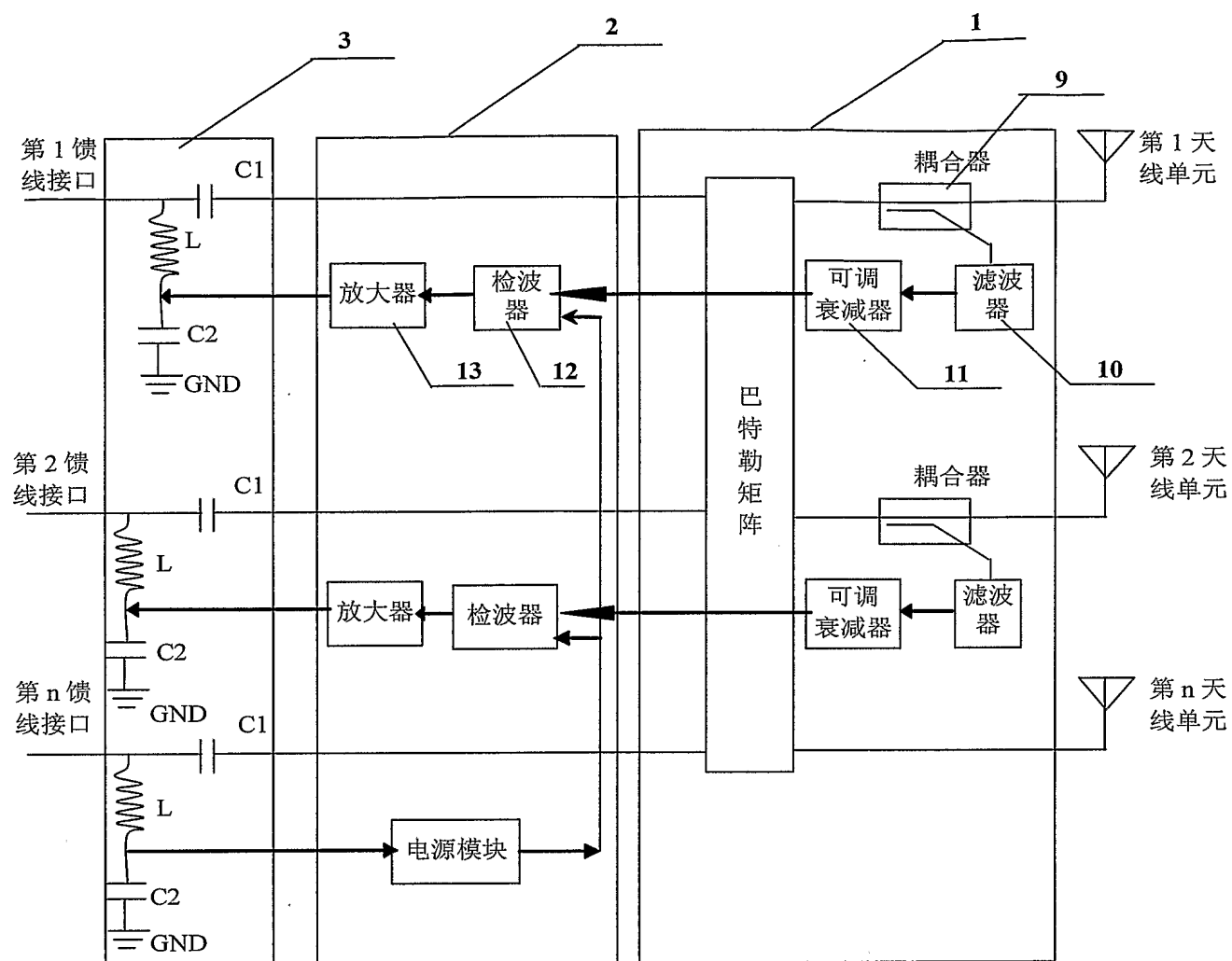


图 2

3/8

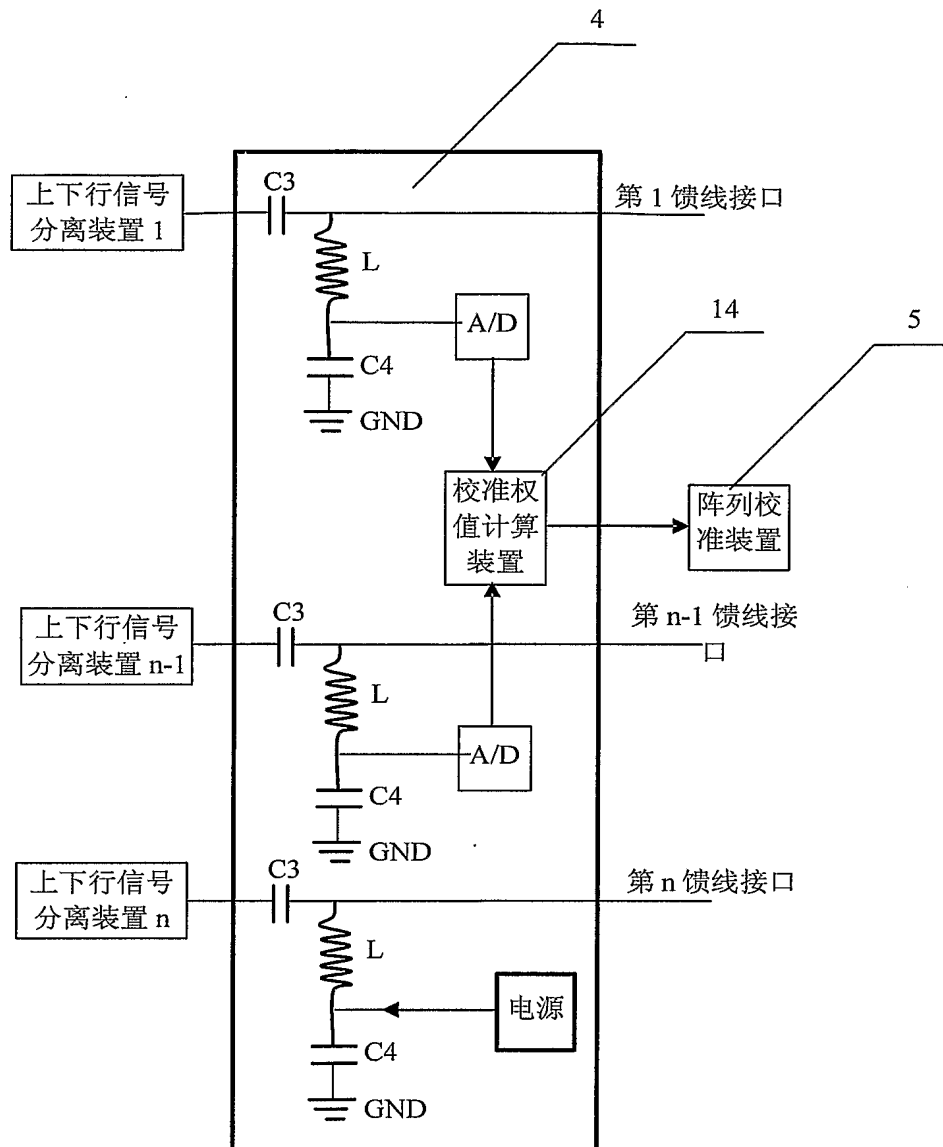


图 3

4/8

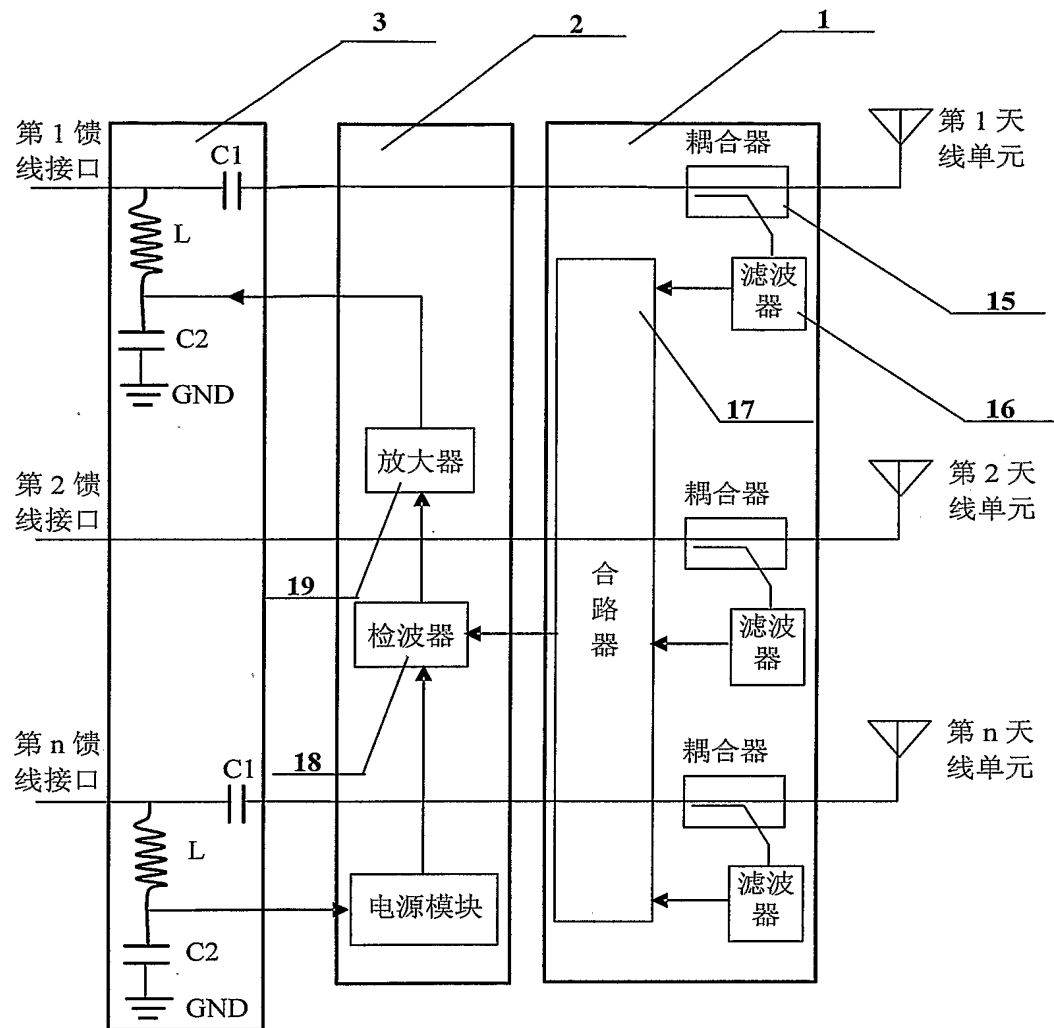


图 4

5/8

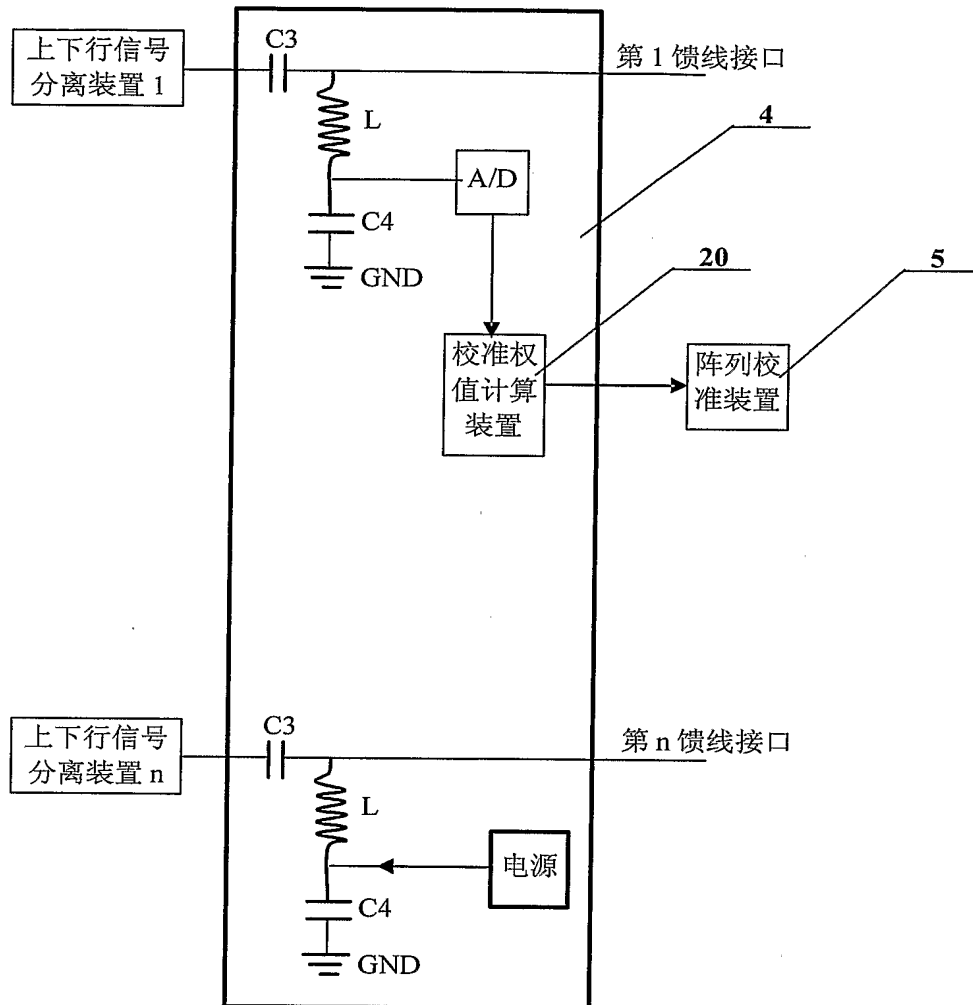


图 5

6/8

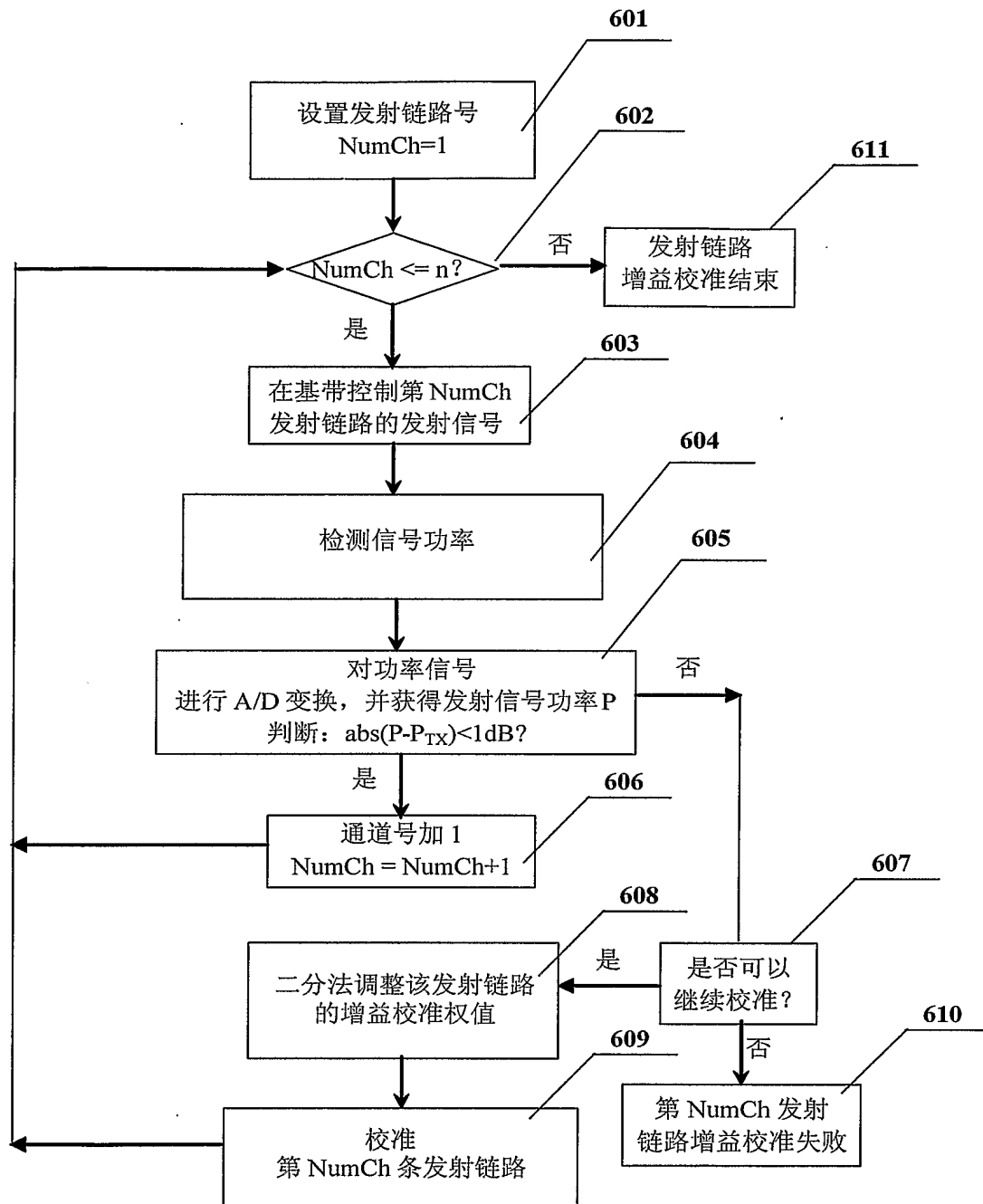


图 6

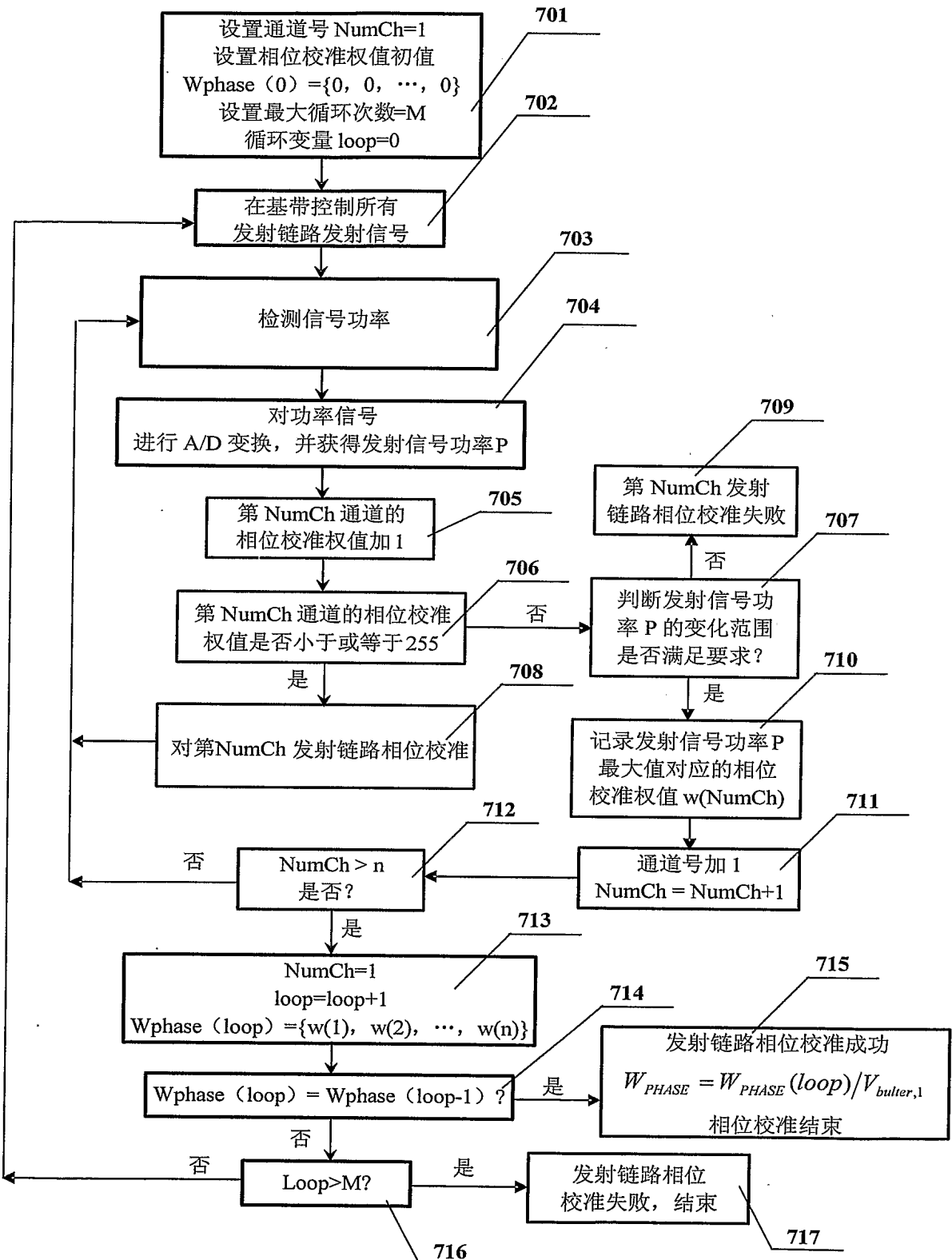


图 7

8/8

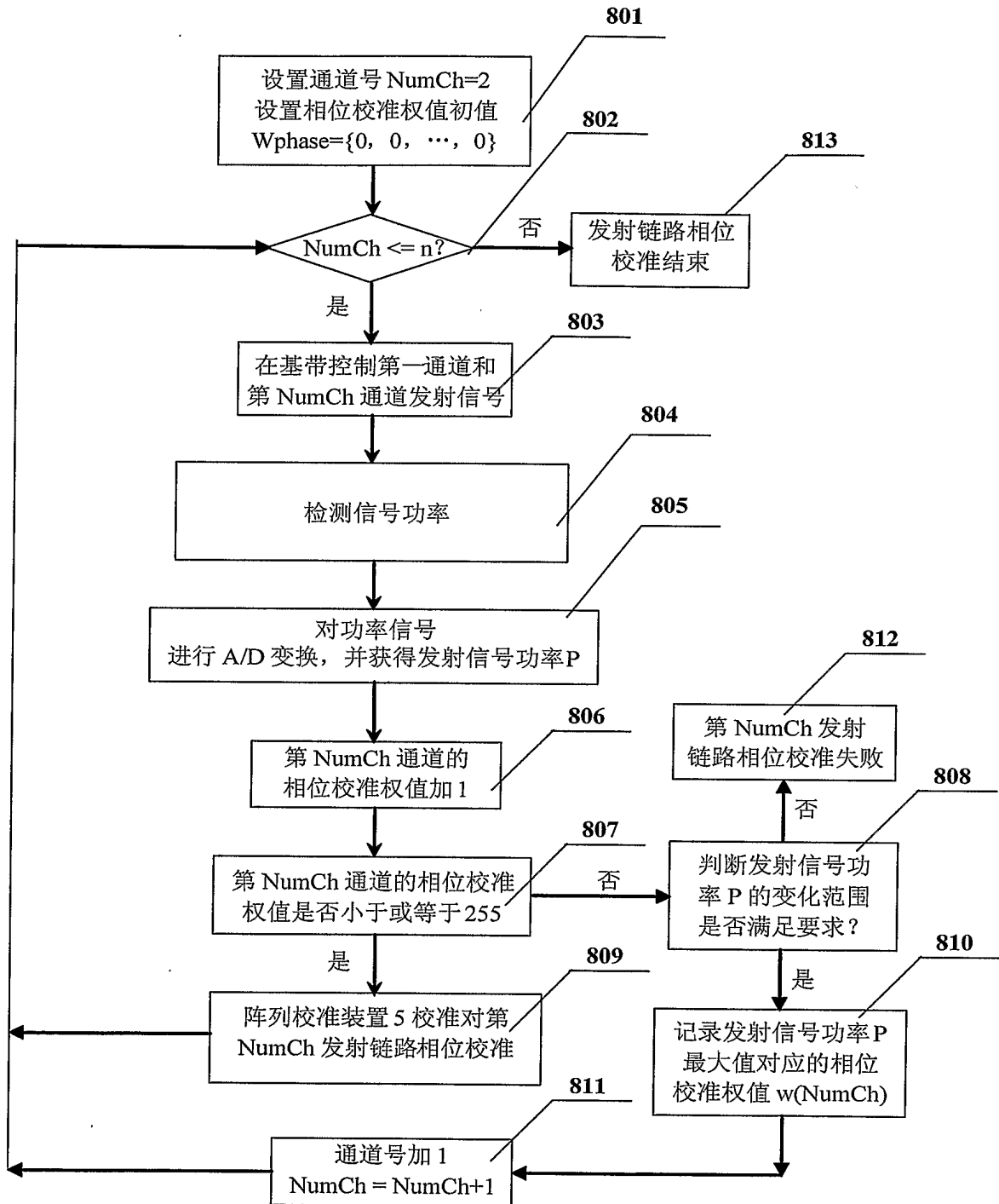


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN03/01149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B7/005

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, PAJ, CNPAT: ARRAY、ANTENNA、LINK、ADJUST、TRANSMIT、BASE、STATION、CELL、
QUALITY、阵列、天线、链路、校准、发射、基站、蜂窝、小区、质量

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A | JP2003152611A, ((HITA) HITACHI LTD), 23.May.2003 (23.05.2003), SEE THE WHOLE DOCUMENT | 1-22 |
| A | WO02061970A, ((QINE-N) QINETIQ LTD), 08.Aug.2002 (08.08.2002), SEE THE WHOLE DOCUMENT | 1-22 |
| A | JP2002290315A, ((KOKZ) KOKUSAI DENKI KK), 04.Oct.2002 (04.10.2002), SEE THE WHOLE DOCUMENT | 1-22 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents: | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim (S) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

Date of the actual completion of the international search
24.Sep.2004 (24.09.2004)

Date of mailing of the international search report
28 . OCT 2004 (28 . 10 . 2004)

Name and mailing address of the ISA/CN
6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District,
100088 Beijing, China
Facsimile No. 86-10-62019451

Authorized officer



Telephone No. 86-10-62084550

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN03/01149

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| JP2003152611A | 23.05.2003 | NONE | |
| WO02061970A | 08.08.2002 | NONE | |
| JP2002290315A | 04.10.2002 | NONE | |

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN03/01149

A. 主题的分类

H04B7/005

按照国际专利分类表(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类体系和分类号)

H04B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称和, 如果实际可行的, 使用的检索词)

WPI、EPODOC、PAJ、CNPAT: ARRAY、ANTENNA、LINK、ADJUST、TRANSMIT、BASE、STATION、CELL、QUALITY、阵列、天线、链路、校准、发射、基站、蜂窝、小区、质量

C. 相关文件

| 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求编号 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A | JP2003152611A, ((HITA) HITACHI LTD), 23.5 月.2003 (23.05.2003), 摘要, 说明书全文 | 1-22 |
| A | WO02061970A, ((QINE-N) QINETIQ LTD), 08.8 月.2002 (08.08.2002), 摘要, 说明书全文 | 1-22 |
| A | JP2002290315A, ((KOKZ) KOKUSAI DENKI KK), 04.10 月.2002 (04.10.2002), 摘要, 说明书全文 | 1-22 |

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的专用类型:

“A” 明确叙述了被认为不是特别相关的一般现有技术的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先的申请或专利

“L” 可能引起对优先权要求的怀疑的文件, 为确定另一篇
引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引
用的文件

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布的在后文件, 它与申请不相
抵触, 但是引用它是为了理解构成发明基础的理论或原理“X” 特别相关的文件, 仅仅考虑该文件, 权利要求所记载的
发明就不能认为是新颖的或不能认为是有创造性“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件
结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时,
权利要求记载的发明不具有创造性

“&” 同族专利成员的文件

国际检索实际完成的日期

24.9月.2004 (24.09.2004)

国际检索报告邮寄日期

28.10月2004 (28.10.2004)

国际检索单位名称和邮寄地址

ISA/CN

中国北京市海淀区西土城路 6 号(100088)

传真号: 86-10-62019451

受权官员

电话号码: 86-10-62084550



国际检索报告
关于同族专利成员的情报

国际申请号
PCT/CN03/01149

| 检索报告中引用的 专利文件 | 公布日期 | 同族专利成员 | 公布日期 |
|------------------|------------|--------|------|
| JP2003152611A | 23.05.2003 | NONE | |
| WO02061970A | 08.08.2002 | NONE | |
| JP2002290315A | 04.10.2002 | NONE | |